

マトリックスコンバータ「FRENIC-Mx シリーズ」

佐藤 和久 (さとう かずひさ)

山田 達也 (やまだ たつや)

高岸 達也 (たかぎし たつや)

特集(1)

1 まえがき

近年、省エネルギー化の要求に伴いインバータの適用範囲が広がっているが、今後、インバータのいっそうの普及拡大には、今まで以上の低コスト化、小型化、高効率化が求められる。また、電源高調波や発生損失の低減、制動エネルギーの電源回生など、環境への適合性もより重視される傾向にある。従来は、電源高調波の低減や電源回生が必要な場合、PWM (Pulse Width Modulation) コンバータとインバータとを組み合わせたシステムでの対応が必要であり、コストとサイズが大きな課題であった。

これらの課題に応えるために、従来のインバータとはまったく回路構成が異なるマトリックスコンバータ「FRENIC-Mx シリーズ」^{(1)~(3)}を商品化した。従来のインバータは入力交流電圧をいったん直流に変換してから任意の出力周波数・電圧の交流を発生するが、マトリックスコンバータは直接、交流から交流への変換を可能としており、かつ、モータが発生する電気エネルギーを電源に回生する機能を持つとともに、入力電流の高調波が少ないといった

図1 FRENIC-Mx シリーズの外観



特徴を持つ。図1に400Vシリーズ45kW機の外観を示す。本稿ではこれらの特徴を中心に紹介する。

2 従来機器のシステム構成

図2は、一般のインバータの回路構成である。回路の構成上、入力電流波形は高調波を含むひずんだ波形となる。また、負荷を減速させる動作などでモータに大きな制動エネルギーを発生させる場合、制動抵抗器により熱として放出させる。この制動抵抗器の設置スペースや熱の処理方法などが課題となる。

一方、図3はインバータの入力側にPWMコンバータを設置した場合の回路構成である。PWMコンバータは、入力電流を制御することができ、かつ、交流側と直流側で

図2 インバータの回路構成

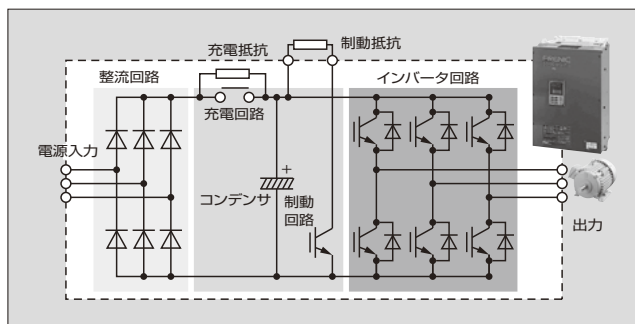
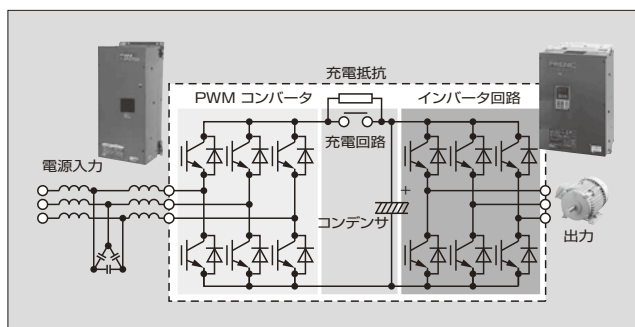
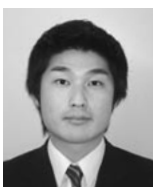


図3 PWMコンバータと組み合わせた場合の回路構成



佐藤 和久

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター制御設計部。電気学会会員。



山田 達也

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター制御設計部。



高岸 達也

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター構造設計部。

電力の授受が自在にできるという特徴を持った機器であり、インバータ装置単体の課題である入力電流高調波や制動エネルギー処理の問題が解決できる。

③ マトリックスコンバータの回路構成

図4にマトリックスコンバータの回路構成を示す。入力フィルタと格子（マトリックス）状に並べた9個の交流スイッチから構成され、これら的高速スイッチング動作により、入力の交流電圧から直接、所望の交流電圧を出力することができる。このためインバータでは、直流部の平滑用として大きなエネルギー蓄積要素である電解コンデンサが必要であったが、マトリックスコンバータの場合は不要となる。ただし、交流スイッチには交流電圧が印加されるため、順逆両方向の電圧に対する耐圧特性が要求される。この交流スイッチには、インバータなどにも多く用いられているIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）とダイオードを組み合わせる方法と、最近実用化された逆方向にも耐圧を持つ逆阻止IGBTを適用する方法の2種類がある。マトリックスコンバータとしては基本的に逆阻止IGBTを適用することで、IGBTとダイオードを組み合わせる方式に比べ、ダイオードへの導通分がなくなることにより損失を30%ほど小さくしている。

④ マトリックスコンバータの特徴

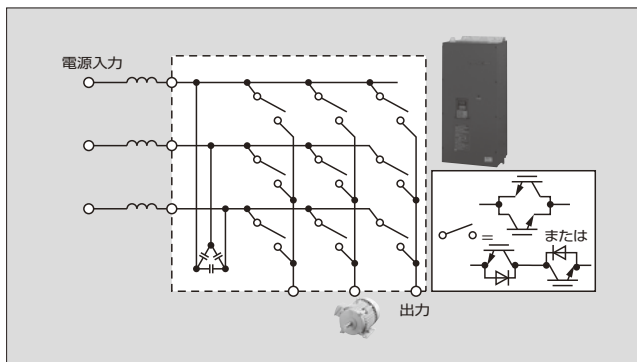
マトリックスコンバータは、一般のインバータおよびPWMコンバータ+インバータのシステムと比較して、以下の優位点を有している。

- (1) 一般のインバータに対する優位点
 - 電源側への高調波電流抑制
 - 制動エネルギーの電源回生による省エネルギー
 - (2) PWMコンバータ+インバータに対する優位点
 - システム全体の小型化
 - 高効率化
- それぞれの項目について、以下に説明する。

4.1 電源側への高調波電流抑制

マトリックスコンバータは、入力電流と出力電圧を同時

図4 マトリックスコンバータの回路構成



に制御しており、入力電流の正弦波化、すなわち高調波の抑制を実現している。400V 45kW機での実際の波形を図5に、入力電流ひずみ率および入力力率特性を図6、図7にそれぞれ示す。図6から100%負荷時の入力電流ひずみ率は7%以下であり、また図7から75%以上の負荷率で力率99%を達成しており、付加回路なしで入力電流の高調波抑制ならびに高力率特性を実現していることが分かる。

4.2 制動エネルギーの電源回生による省エネルギー

昇降動作を行うモータ負荷では、モータが発電機となって電気エネルギーをインバータに戻す（制動）場合がある。一般のインバータでは、この制動エネルギーを制動抵抗器により熱に変えて放出する。これに対し、マトリックスコンバータは、電気エネルギーとして電源に戻すこと（電源回生）が可能である。この回生エネルギーを別の機器で再

図5 入出力の電圧・電流波形

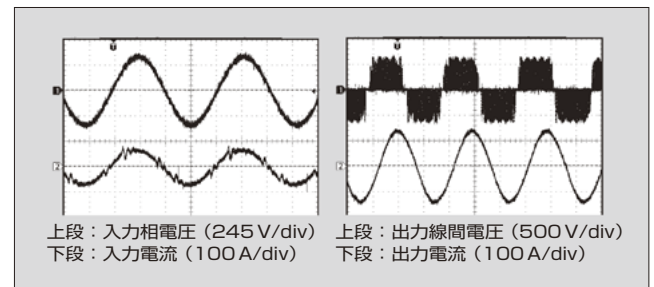


図6 入力電流ひずみ特性

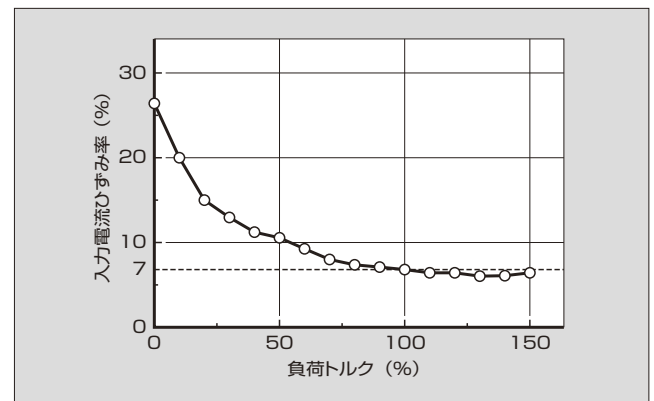
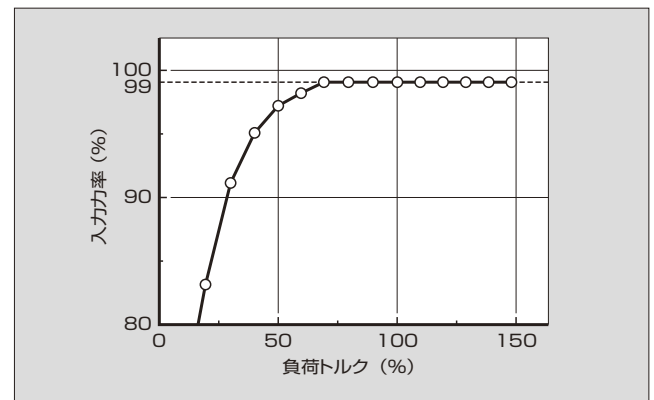


図7 入力力率特性



利用すれば、システム全体の省エネルギー効果が得られることになる。

4.3 システム全体の小型化

PWM コンバータをインバータと組み合わせれば、入力高調波電流の抑制と電源回生を実現できる。マトリックスコンバータとの構成要素について比較すると、前者はインバータとPWM コンバータの各本体ユニットのほかに、周辺機器としてフィルタ機器（コンデンサ、リアクトル）や昇圧リアクトルなどが必要となる。一方、マトリックスコンバータでは、一つの本体ユニット（コンデンサ内蔵）とフィルタ機器（リアクトル、抵抗器）のみのため、省スペース化が図れ、設置する盤の大幅な小型化、配線作業の簡素化ができる。

4.4 高効率化

もう一つの優位点は、発生損失の低減すなわち高効率化が挙げられる。図3から、PWM コンバータとインバータを組み合わせた場合、入力の各相から出力の各相まで電流経路上には、2個の半導体素子（IGBTとダイオード）が存在するが、図4のマトリックスコンバータの場合、経路上には1個の半導体素子のみであり、その分の発生損失が低減できる。発生損失の低減は省エネルギー効果のみならず、発生熱量低減の面から、設置する盤および盤の冷却装置の小型化にもつながる。

4.5 従来機器との具体的な比較

以上の特徴について、400V 45kW 機を例とした場合の従来機器による構成（PWM コンバータ+インバータ）との比較は、表1のようになる。

また、主回路上に直流部がないことにより、寿命部品である電解コンデンサが不要となり、メンテナンスの簡素化も図れる。

5 マトリックスコンバータの制御技術

5.1 仮想 AC/DC/AC 制御方式⁽⁴⁾

従来からの一般的なマトリックスコンバータの制御法は、電源電圧から所望の交流電圧を得る条件と、入力電流が正弦波状になるように負荷電流を分配する条件から、各交

流スイッチのスイッチングパターンを直接演算する方式であった。この方式はマトリックスコンバータ固有の制御法であり、変換器の違いを生かしたさまざまなスイッチングパターンを作り出すことができるが、このパターンを直接求めることから、入力電流制御と出力電圧制御を分離して行うことはできなかった。

そこで図8のように、マトリックスコンバータを仮定の整流器部と仮定のインバータ部に分けて入力電流と出力電圧についてそれぞれ制御を行い、仮想整流器と仮想インバータのスイッチングパターンを生成後、この仮想AC/DC/AC変換器とマトリックスコンバータの入出力関係が同じになるようスイッチングパターンを得る、富士電機独自の方式（仮想AC/DC/AC方式）を採用した。本方法は、従来のインバータの延長線上で制御を行えるので、これまでのインバータやPWMコンバータで培った技術がほぼそのまま使用できる。

5.2 速度センサ付きベクトル制御方式

モータの制御方式は、実績のある高性能ベクトル制御形インバータ「FRENIC5000VG7Sシリーズ」の速度センサ付きベクトル制御方式を採用しており、同等の制御性能を実現している。また、制御端子機能（デジタル入力、デ

図8 仮想 AC/DC/AC 方式

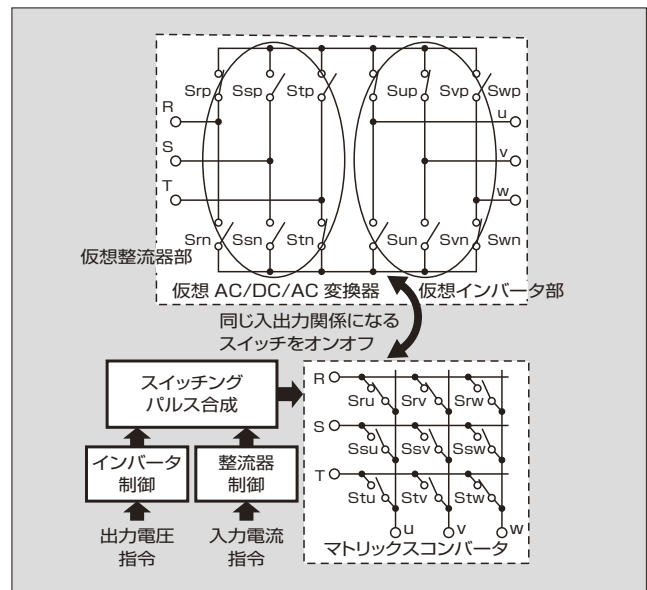


表1 マトリックスコンバータと従来機器との比較

	PWMコンバータ+インバータ	マトリックスコンバータ		
	仕様	仕様	比率	ユーザーのメリット
設置面積	3.01m ²	1.23m ²	41%	盤、機械の小型化
容積	1.8m ³ (1.4×2.15×0.6)	0.74m ³ (0.6×2.05×0.6)	41%	盤、機械の小型化
発生損失	3,520W	2,360W	67%	盤、機械の小型化 盤内冷却装置の小型化、撤廃 省エネルギー
平滑コンデンサ寿命	7年	平滑用電解コンデンサなし	-	メンテナンス性向上

デジタル出力、アナログ入力、アナログ出力)についても、FRENIC5000VG7Sシリーズと同等な機能が豊富に用意されており、さまざまなアプリケーションへの対応が可能である。

6 今後の展開

6.1 容量系列拡大

図9に今後の容量系列計画を示す。発売済みの400V 45kWに加え、400V系、200V系ともに、15kW、30kWの容量拡充を行い、7.5~30kWのモータ駆動に対応させていく。

6.2 汎用モータ駆動への対応

マトリックスコンバータは原理的に入力線の線間電圧をス

イッチングして出力電圧を作り出すため、ひずみなしの電圧を出力するには入力電圧の約86%、すなわち図10に示した網掛けの範囲内に制限する必要がある。このことは、400Vの電源を用いて400V定格の汎用モータを定格駆動できないということを示す。そのため、モータの電圧仕様はそのまま出力を低減させるか、使用するモータの電圧仕様を下げる、などの対策が必要となる。

この86%を超える範囲の電圧を出力するには、過変調制御を行い、スイッチングされた個々の矩形(くけい)波のオン期間を広げることで対応できるが、入出力電流のひずみや、モータのトルク脈動などが発生しやすい。

このような出力電圧に対する問題を改善するため、「電圧利用率改善制御⁽⁵⁾」を新たに開発し、入力電流のひずみやトルク脈動を抑えながら入力電圧の95%までの電圧出力を可能とした。さらに、負荷急変時などの出力過電流によるトリップの回避を可能とした高速ソフトウェア電流制限機能についても検討・開発を行い要素技術として準備した。

今後は、上記要素技術を用いた汎用モータ駆動用V/f制御法を組み込んだマトリックスコンバータの製品化を行っていく。

図9 容量系列拡大の計画

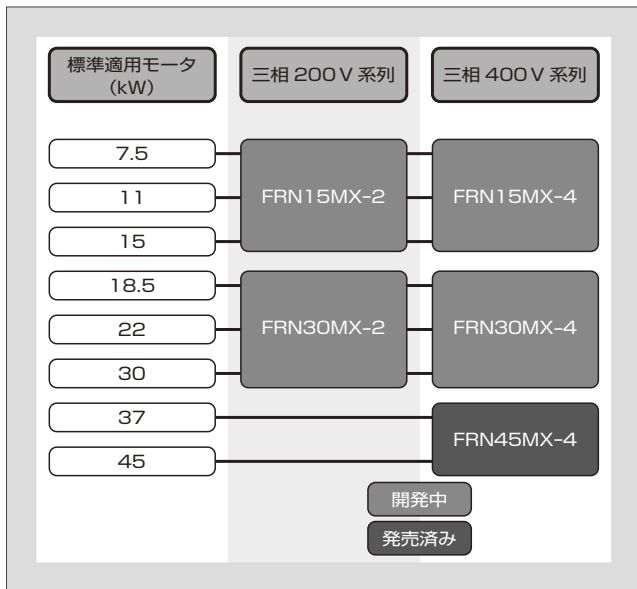


図10 マトリックスコンバータの出力可能電圧範囲

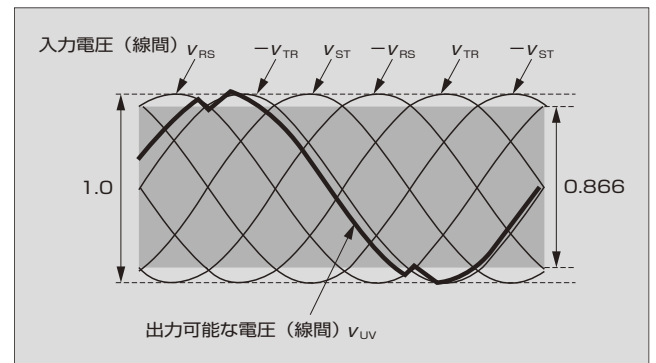
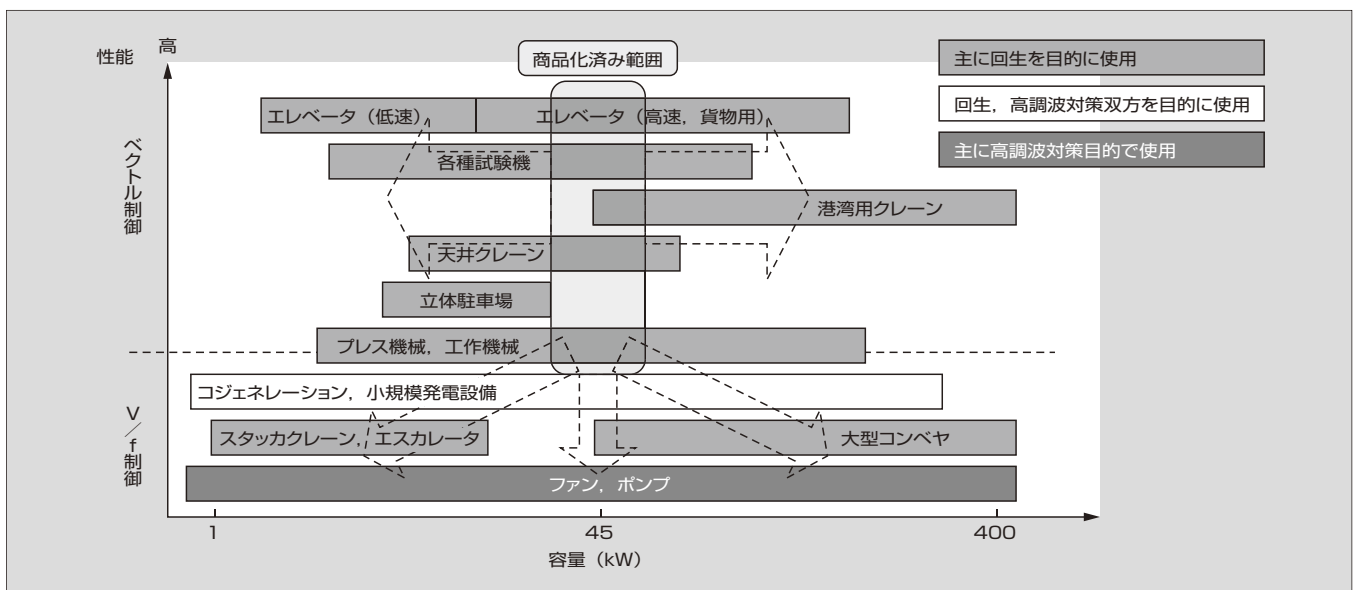


図11 マトリックスコンバータの適用範囲



7 あとがき

マトリックスコンバータ「FRENIC-Mx シリーズ」の特徴や動作原理などについて紹介した。図11は今後のマトリックスコンバータの適用分野を示したものであり、縦軸は求められる性能レベル、横軸はメインとなる容量範囲を示している。図から、速度フィードバックを持ち、速度、トルクの高精度制御が行えるベクトル制御用途から、V/f制御を用いた比較的単純な可変速制御用途まで、各容量範囲に対しニーズがあることが分かる。今後はこれらの幅広いニーズに応えるべく、製品開発ならびに容量系列拡大を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 伊東淳一ほか. マトリックスコンバータを利用した高効率電力変換. 富士時報. vol.77, no.2, 2004, p.142-145.
- (2) 山田達也, 佐藤和久. 平成 18 年度 (第 55 回) 電機工業技術功績者表彰から - 進歩賞の紹介. 電機日本電機工業会. 2006-8, p.30-31.
- (3) 林寛明. マトリックスコンバータ~省エネと小型化を実現. 産業と電気. 2007 年 2 月号, p.9-14.
- (4) 伊東淳一ほか. キャリア比較方式を用いた仮想 AC/DC/AC 変換方式によるマトリックスコンバータの制御. 電気学会雑誌. vol.124, no.5, 2004, p.457-463.
- (5) 玉井康寛ほか. マトリックスコンバータの過変調領域における一制御手法. 平成 18 年電気学会産業応用部門大会. 2006, p.I-79 ~ I-84.

